



Modélisation et évaluation intégrées à l'échelle du territoire : de la gestion de l'eau à la gestion des produits résiduels organiques



Nancy



Colmar

Olivier Therond - INRA

19 sept 2019 – RMT Fertilisation et Environnement

Objectif : Modèle informatique générique pour évaluer les impacts environnementaux et socio-économiques de modes de gestion des ressources agricoles et naturelles à l'échelle du territoire

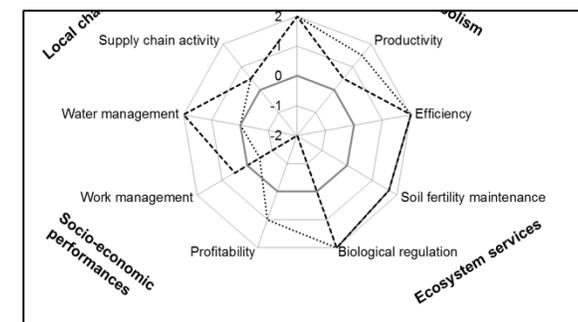
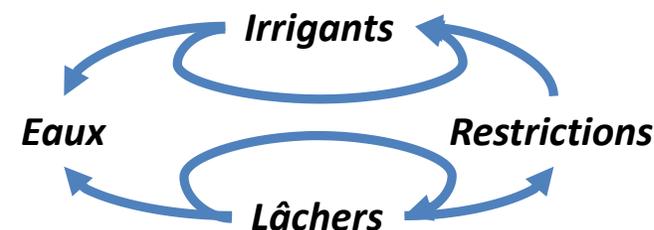
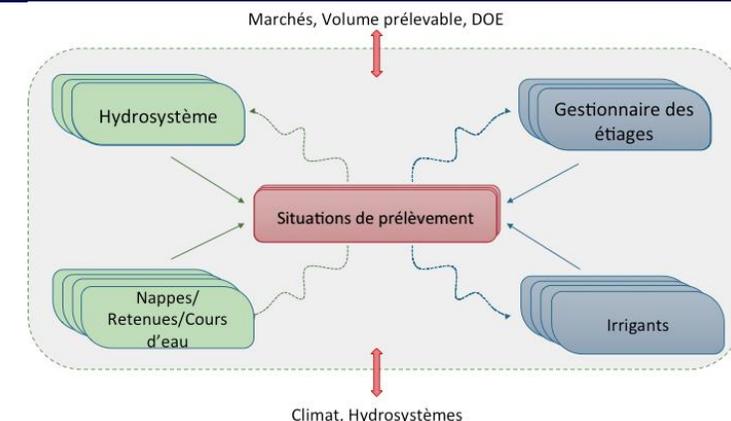
Partenaires du Sud-Ouest : AGIR, GET, IRIT, ECOLAB, MSH (Univ. T. II)

Premier domaine d'application : Gestion quantitative de l'eau en France

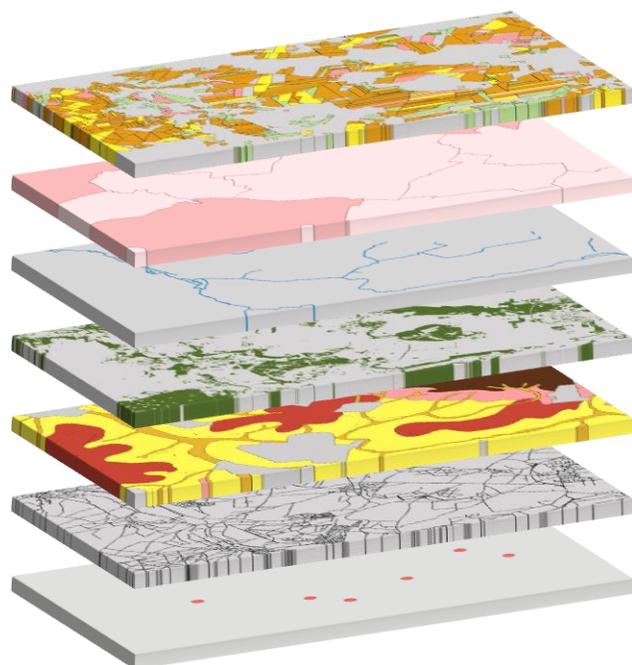


Représentation :

- Structure du territoire : **hétérogénéité des situations d'action (BD spatialisées)** → système culture/production x pédoclimat x ressource(s)
 - **Dynamiques** spatiotemporelles écologiques et humaines en jeu
 - interactions et rétroactions
- Pour estimer des :
- **Indicateurs** environnementaux et socio-économiques aux échelles temporelles et spatiales adaptés aux acteurs

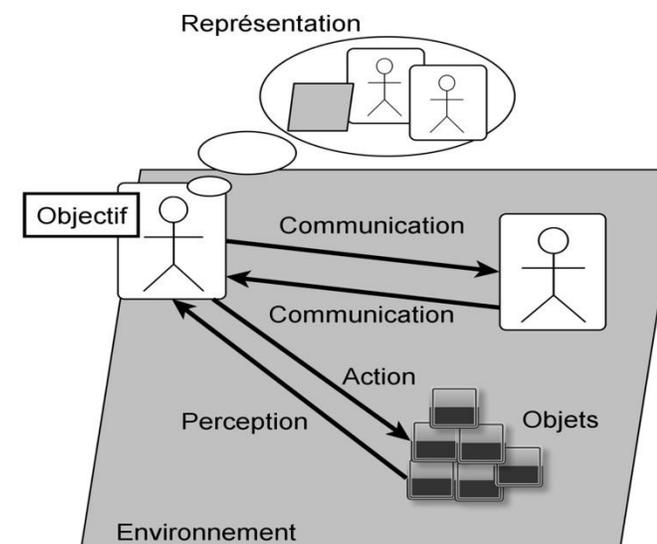


SIG à haute résolution



+

Système multi-agent



Simulation des phénomènes
émergeant de l'hétérogénéité des
interactions homme-environnement
situées

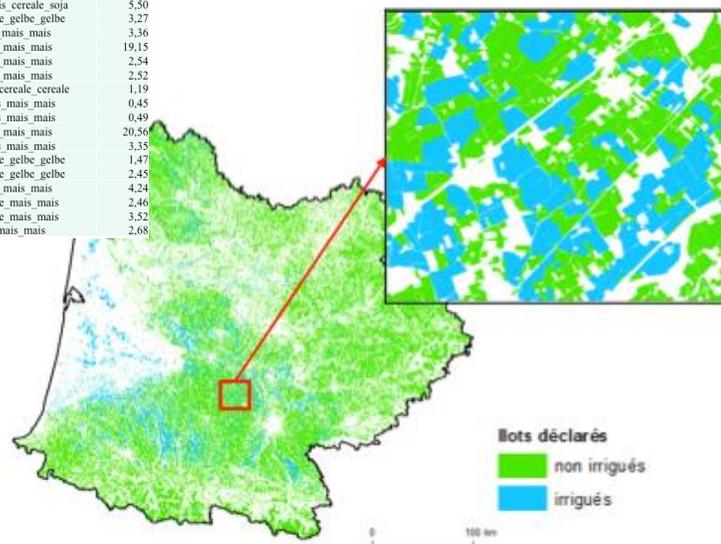
« Bottom-up models »

Grimm et al. 2005

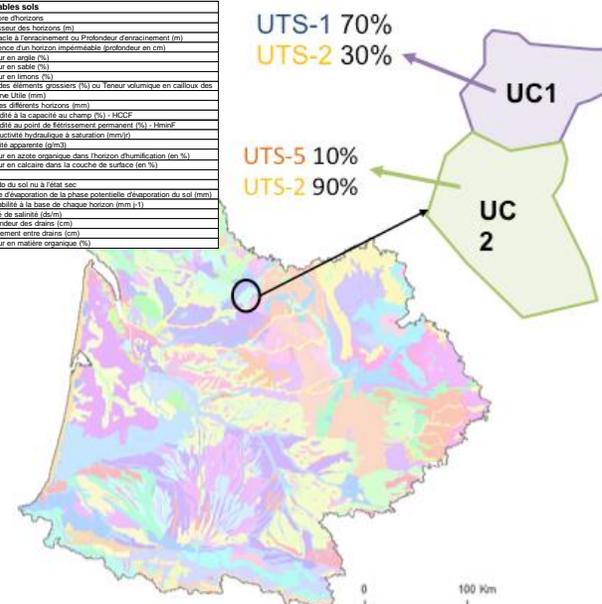
Intégration de données :

- Sols (1/50 000 → 1/1000 000, ou données locales) et Climats (grilles 8 ou 6 km)
- Registre Parcellaire Graphique (RPG)
- Séquences de culture observées (ex. 2006 à 2014) au sein des îlots
- Ressources et Prélèvements en eau (IGN et Agence de l'eau)
- Couvertures du sol (CLC et IGN)

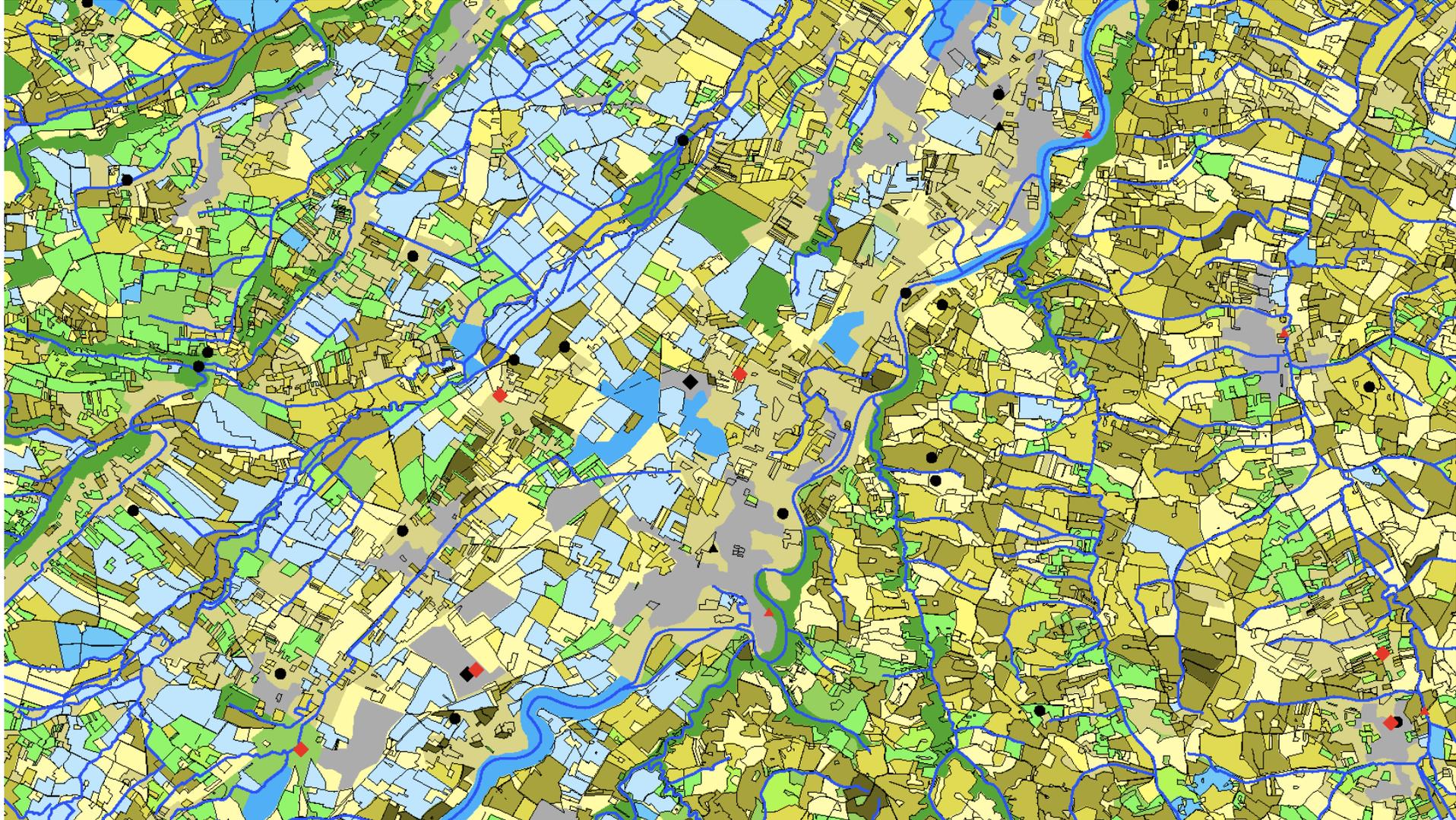
ID îlot	Séquence	Surface
24836	gelbe_gelbe_gelbe_gelbe	1,64
37875	cereale_pois_cereale_tour	2,67
37890	orge_soja_cereale_cereale	5,20
37958	cereale_pois_cereale_soja	5,50
37960	gelbe_gelbe_gelbe_gelbe	3,27
40498	orge_mais_mais_mais	3,36
40575	mais_mais_mais_mais	19,15
48744	mais_mais_mais_mais	2,54
48862	mais_mais_mais_mais	2,52
48880	mais_biet_cereale_cereale	1,19
56096	gelbe_mais_mais_mais	0,45
56098	gelbe_mais_mais_mais	0,49
56196	mais_mais_mais_mais	20,56
56197	gelbe_mais_mais_mais	3,35
56215	gelbe_gelbe_gelbe_gelbe	1,47
56293	gelbe_gelbe_gelbe_gelbe	2,45
59426	mais_mais_mais_mais	4,24
59733	gelbe_gelbe_mais_mais	2,46
59918	gelbe_gelbe_mais_mais	3,52
59924	biet_pois_mais_mais	2,68



Variables sols
Nombres horizons
Épaisseur des horizons (m)
Capacité à l'enracinement ou Profondeur d'enracinement (m)
Présence d'un horizon imperméable (profondeur en cm)
Teneur en argile (%)
Teneur en sable (%)
Teneur en limons (%)
Part des éléments grossiers (%) ou Teneur volumique en cailloux des réserves (t/m³)
RU des différents horizons (mm)
Humidité à la capacité au champ (C) - HCCP
Humidité au point de flétrissement permanent (P) - HMPF
Conductivité hydraulique à saturation (mm/j)
Densité apparente (t/m³)
Teneur en azote organique dans l'horizon d'humification (en %)
Teneur en calcaire dans la couche de surface (en %)
pH
Albedo du sol nu à l'état sec
Limite d'évaporation de la phase potentielle d'évaporation du sol (mm)
Vulnérabilité à la base de chaque horizon (mm j ⁻¹)
Degré de salinité (ds/m)
Profondeur des drains (cm)
Écartement entre drains (cm)
Teneur en matière organique (%)



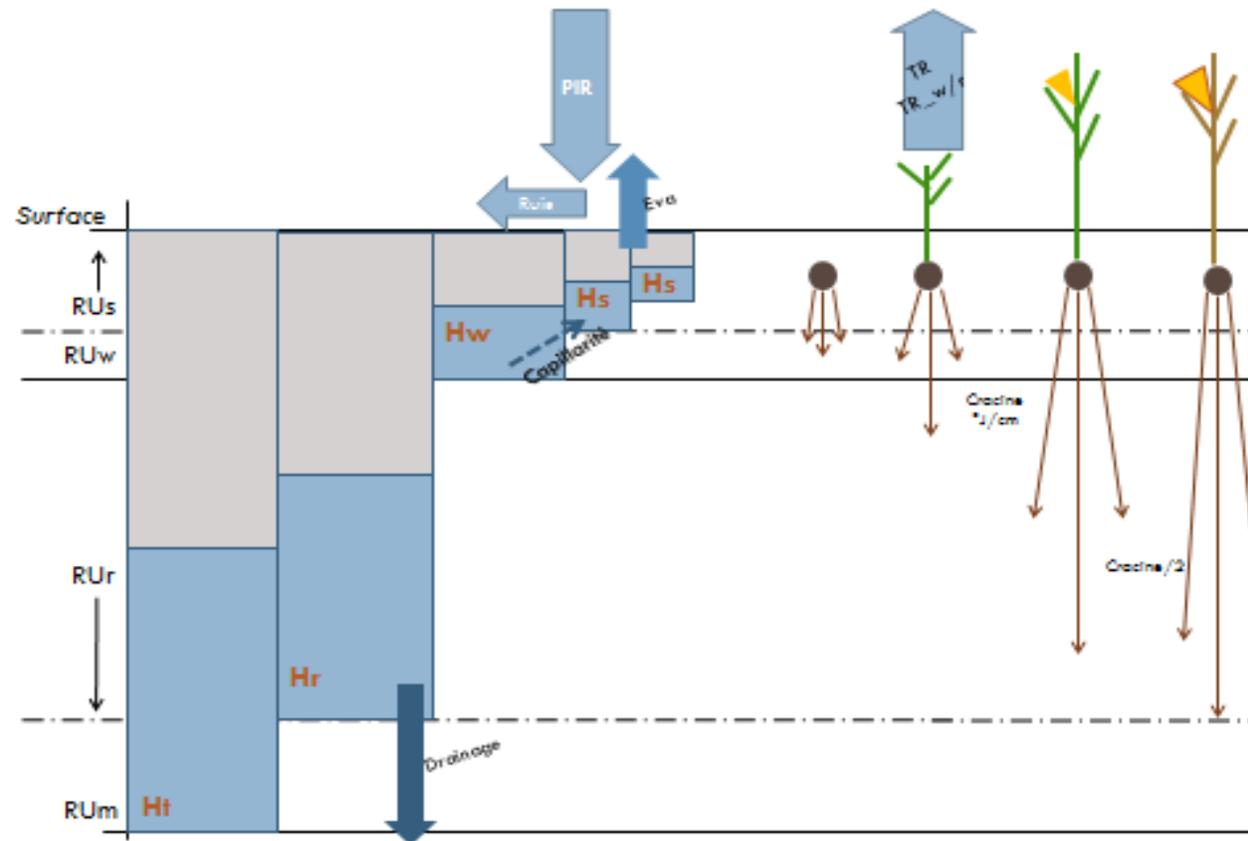
* Représentation fine de l'espace



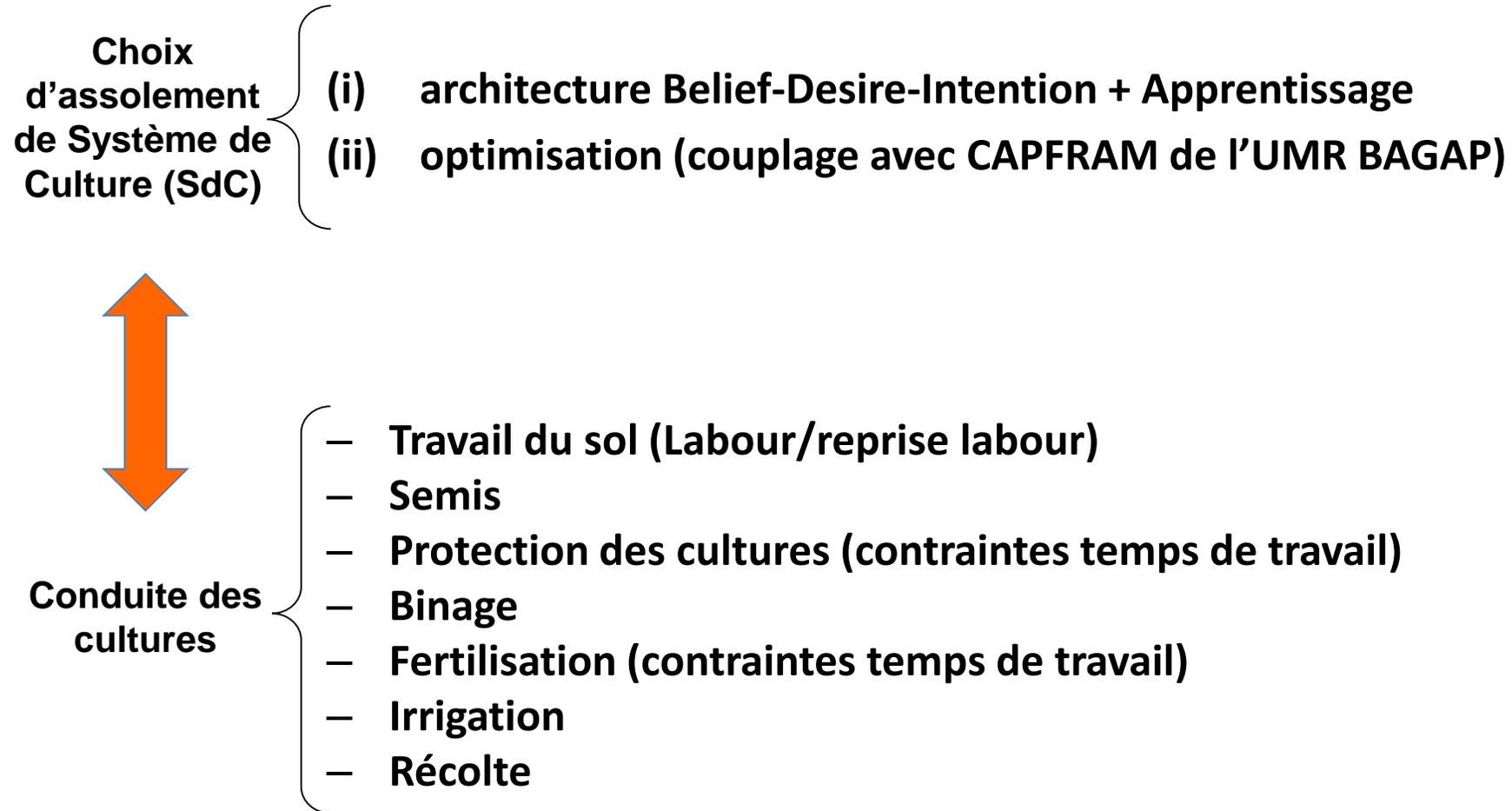
- **Postures** : simplicité et robustesse

- **Processus écologiques** (niveaux d'organisation)
 - **Sol-culture** : modèle de culture AqYield (parcelle)
 - **Hydrologie** : modèle SWAT[®] (ressources x sous-bassin x bassin)

- **Processus décisionnels**
 - **Agriculteur** (parcelle x bloc de parcelles x bloc irrigation x exploitation)
 - **Gestionnaires de ressources** (tronçon de cours d'eau x barrage)
 - **Gouvernance des usages des ressources** (ressource en eau x zone sécheresse x secteur sécheresse)



Une instance de modèle par parcelle



- Représentation des **stratégies de conduite des cultures** sous forme de règles SI – ALORS
 - f(état du climat passé & futur, sol, plante, ressource en eau, régulation)

- Représentation du **fonctionnement de l'exploitation** :
 - Contraintes de disponibilité en travail : débit de chantier associé à chaque type d'opération culturale
 - Priorité entre les opérations techniques et entre ressources en eau
 - Distribution spatiale des parcelles

- ➔ **Chaque parcelle a une dynamique propre qui dépend de ses caractéristiques et de celles de l'exploitation agricole dans laquelle elle se trouve**

Module économique, co-développé avec ARVALIS :

- Résolution : opération technique
- Temps de travail pris en compte
- Charges d'irrigation : « calculette irrigation d'Arvalis »
- **Plusieurs scénarios de prix de vente**

Scénarios

Factoriels et combinés

Contextes

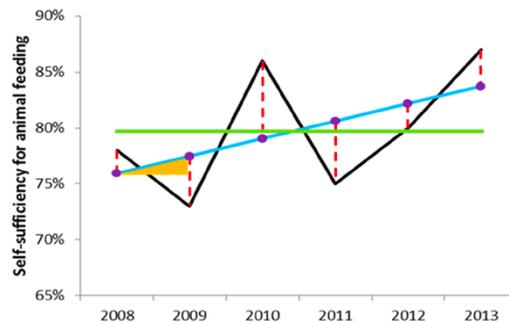
- Biophysique : climat, ressource
- Economique : prix, primes
- Social : contraintes sur le travail

Systèmes de culture

- Nature
- Distribution

Gouvernance des ressources

- Stratégie
- Structure



Résultats à différents niveaux
d'organisation
(parcelle, SdC, SdP, zone)
et de temps (jour --> années)

Indicateurs

Performances et résiliences

Biophysiques

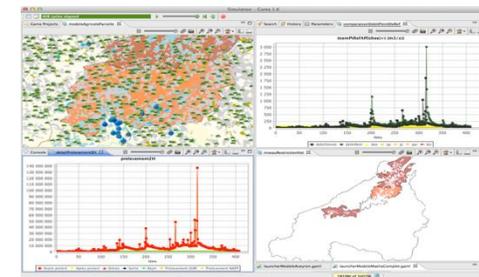
- Cycle eau, N et C
- Agri-biodiversité
- ...

Economiques

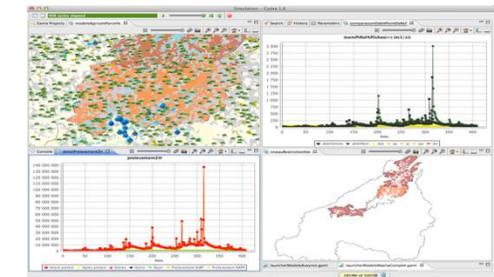
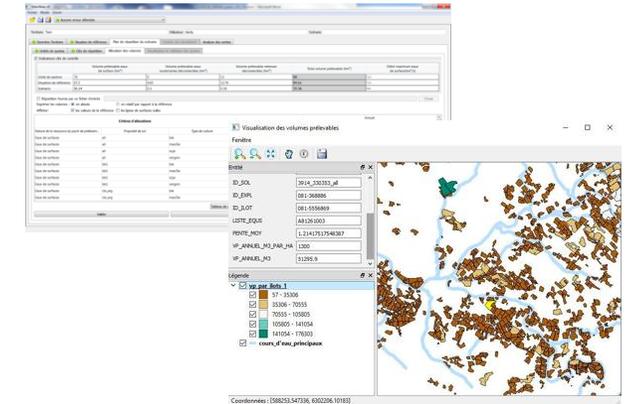
- Marges brute et semi-nette
- ...

Sociaux

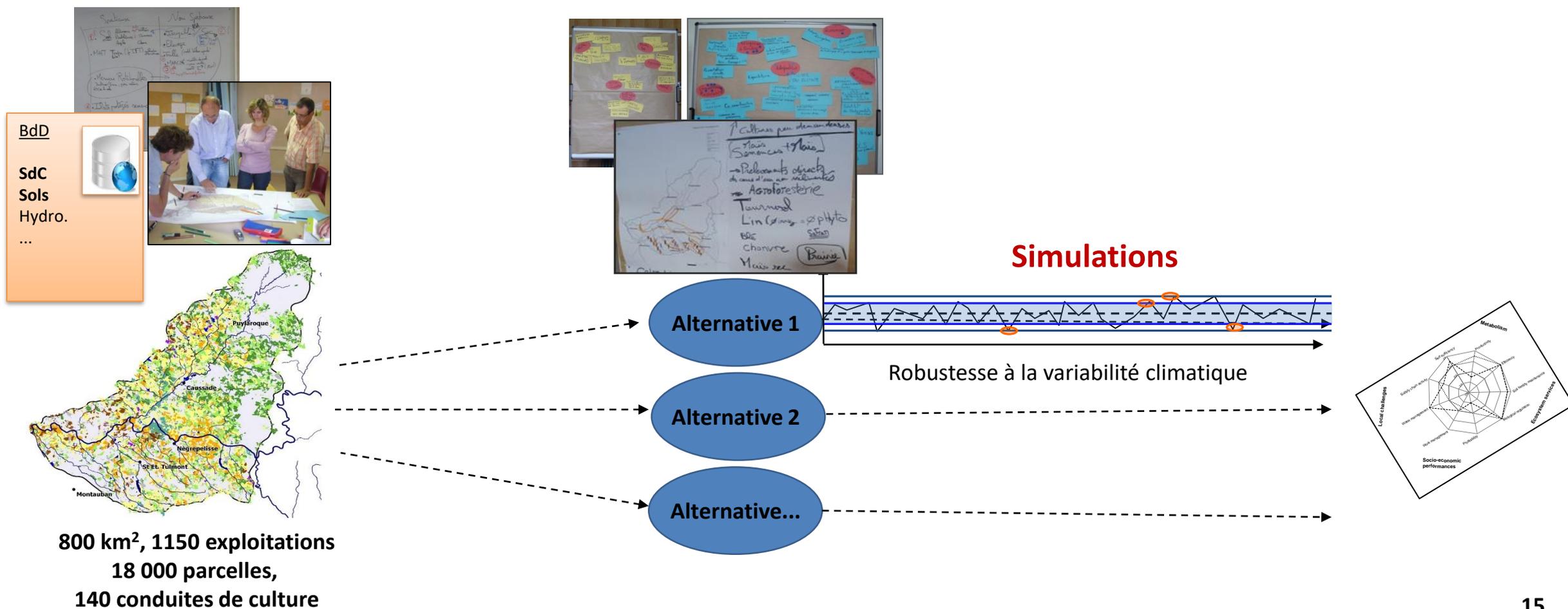
- Nature/volume de travail
- ...



- **Développement d'outils/services** → interfaces, bases de données, procédures d'utilisation, ex. **SIMULTEAU (ARVALIS, CACG)** pour les OUGC de l'eau
- **Recherche en laboratoire** : plateforme « d'expérimentations virtuelles » pour analyser les interactions agriculture-ressources
- **Recherche intervention** : équiper les acteurs pour penser de nouvelles organisations territoriales
 - **développement d'un système d'information/tableau de bord** pour penser/piloter les interventions dans un territoire



- 1- Co-construction d'un modèle de la **situation actuelle**
- 2- Co-conception d'**alternatives** de structure/fonctionnement
- 3- Co-analyse de l'**évaluation intégrée** de ces alternatives



- **Evaluations quantitatives** en labo et avec les acteurs (ex. hydrologie, prélèvements)

- **Evaluations qualitatives à dire d'experts locaux** (ex. dynamiques spatiotemporelles des opérations techniques)

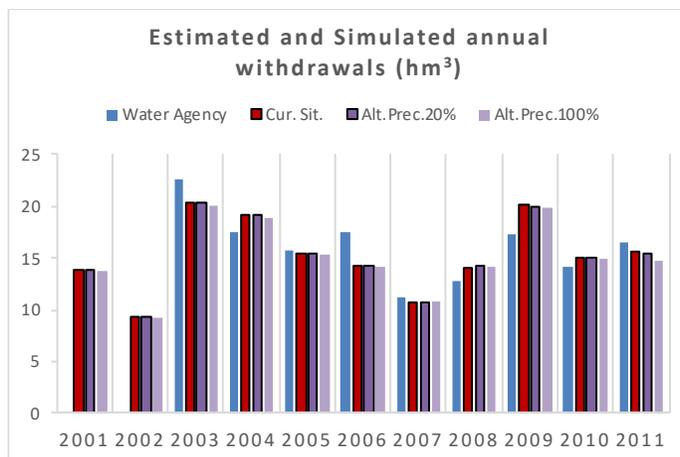


Extrait des pratiques en Maïs gr. Monoculture, tous sols confondus

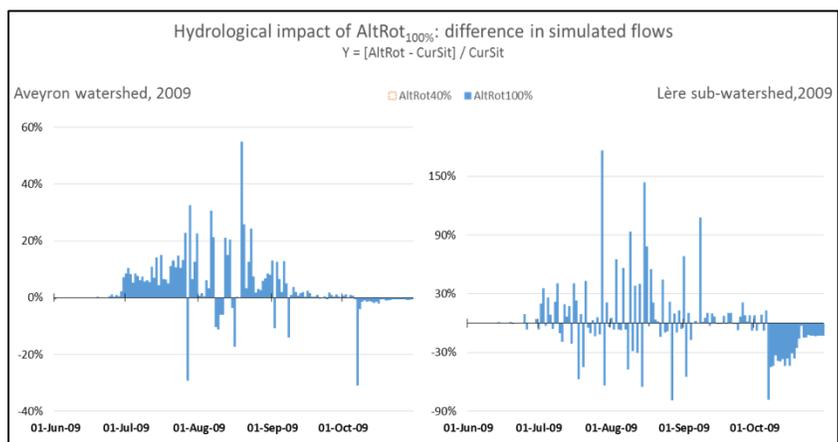
moyennes	Date Irrig. 1	Date fin irrig.	Nb. TD	dose [mm]
2003	23/5	15/9	14	288
2004	4/6	1/10	13	287
2005	3/6	4/10	12	268
2006	25/5	2/9	12	263
2007	23/6	21/9	10	255

→ Une représentation numérique du SSE jugée cohérente et adaptée pour analyser le fonctionnement et évaluer les effets de changements dans le SSE

→ Demande des acteurs de détailler les situations d'action (ex. sol, SdC, ressources en eau, contraintes de gestion...) !



**1. Semi var. et semis précoces maïs :
très faible effet, voire contre-effet**

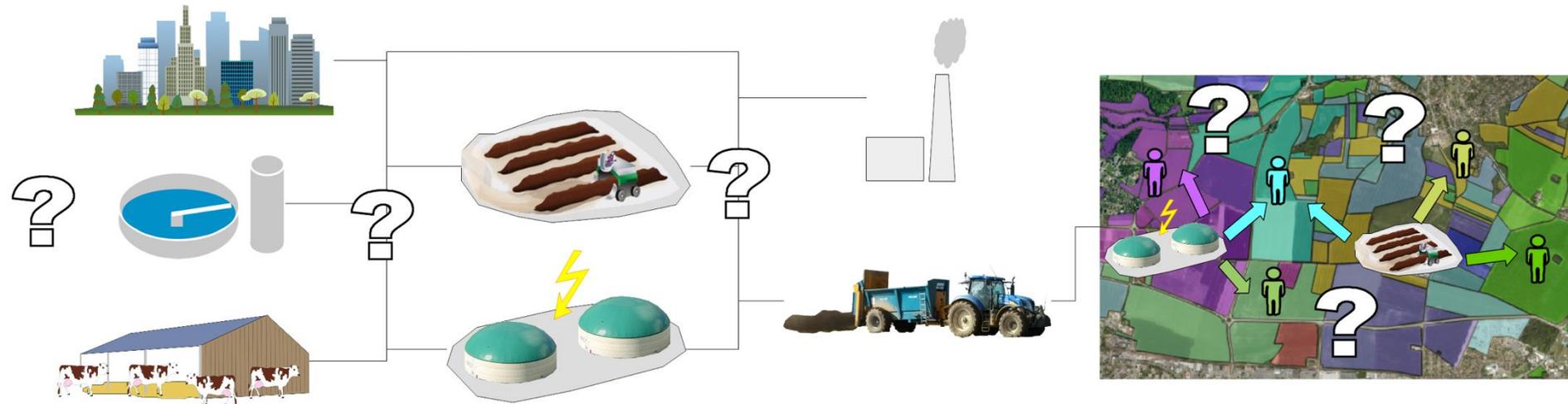


**2. Rotation blé-maïs vs. maïs :
effets différenciés sur les débits
suivant les bassins versant,
voire contre-effet !**

➔ Besoin d'itérations conception-évaluation !

Projet PROTERR (coord. Sabine Houot, ECOSYS) : 2017-2021

Comment utiliser au mieux les PRO pour répondre aux enjeux de durabilité des exploitations agricoles et locaux ?



Trois terrains d'étude :

- **Plaine de Versailles** (Grandes cultures et PRO urbains)
- **Territoire du Coglais** (élevage + méthaniseur)
- **Pays Rhin-Vignoble-Grand Ballon** (maïs irrigué et peu de PRO)



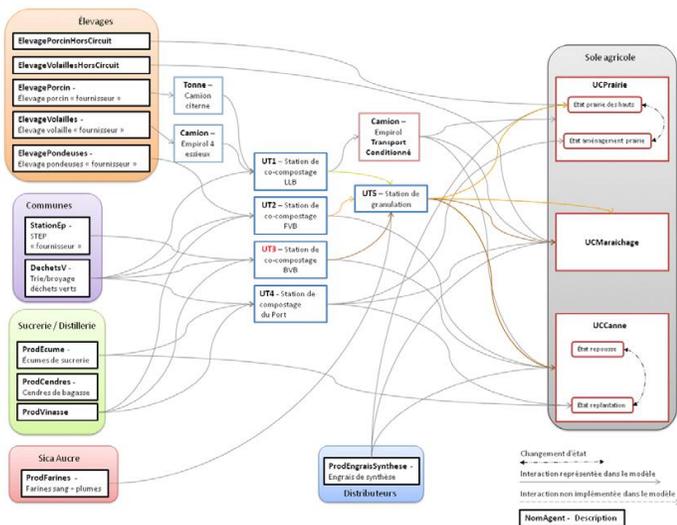
UMR ECOSYS (F. Levavasseur) et al. :
Indicateurs de qualités physiques, chimiques et biologiques du sol, émissions (N), cycle du Corg...

LAE + Terrains :
règles de décision de gestion et d'apport des PRO à l'échelle de la parcelle et exploitations

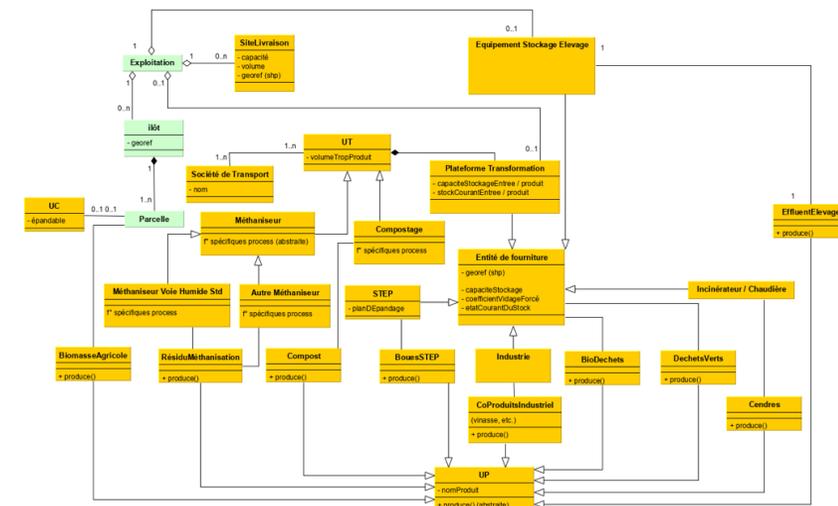
UR Recyclage & Risque et LAE : modèle générique de filières PRO



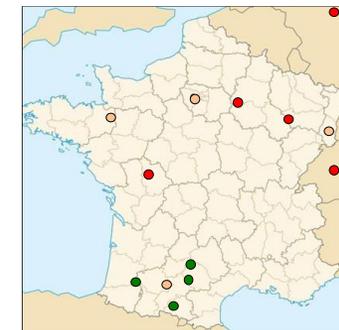
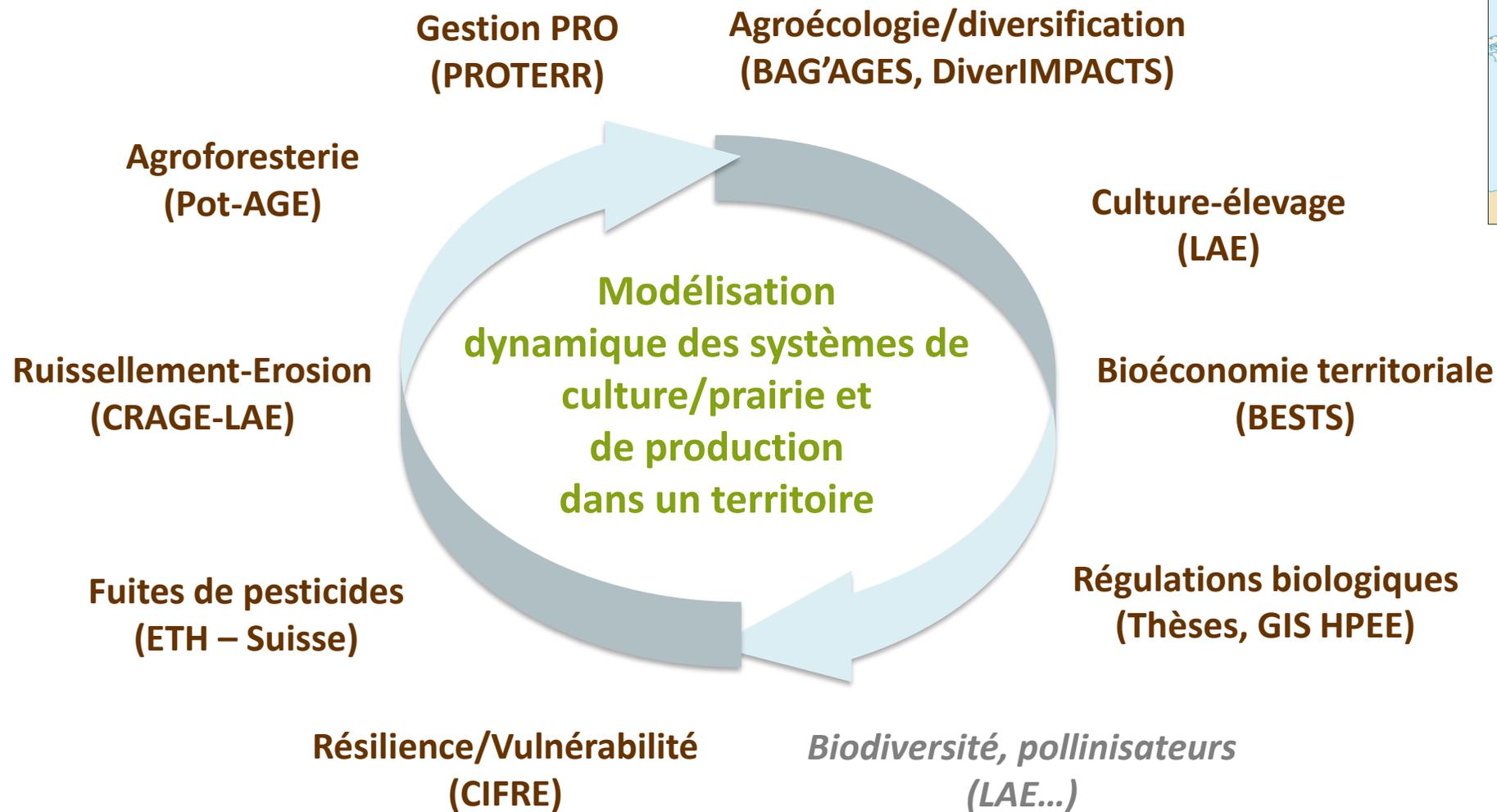
UPUTUC



MAELIA - Filières PRO

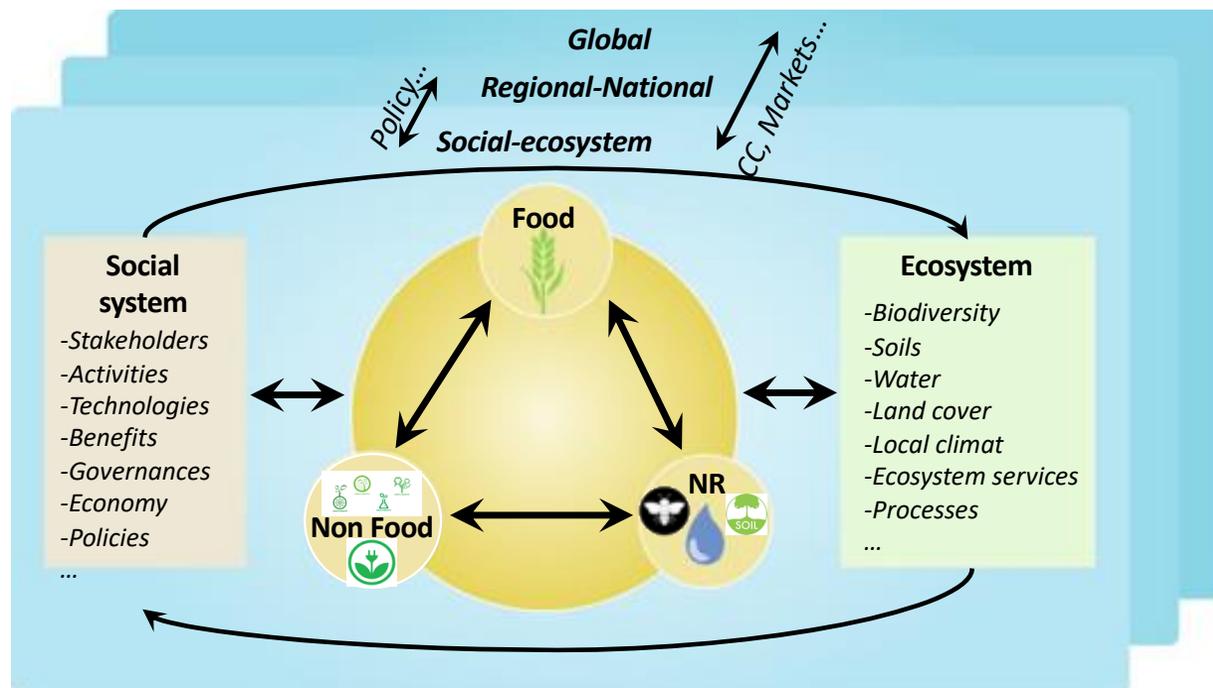


IRSTEA UR OPAL-Rennes :
Algorithmes de flux de matières, énergie
et émissions pour méthaniseur,
compostage, stockages PRO



→ Prise en compte du nexus Food - Non Food – Natural Resources

(Therond et al. 2017)



Adapted from Liu et al., 2018



Wohlfahrt et al. 2019

- Interfaçage pour faciliter l'implémentation
- Développement d'outils métier (eau, PRO, approche intégrée)
- Interopérabilité avec outils/BDs existants (ex. MesParcelles[®], SYSTERRE[®])
- Déploiement avec partenaires (ex. CRAGE, Suisse) pour accompagner les acteurs (ex. projet méthanisation, conception politique agricole)

Club des contributeurs au développement de MAELIA

- Laboratoires : AGIR, CIRAD, DYNAFOR, ECOSYS, EEF, GET, IRIT, LAE, MIAT, BAGAPE, AGRONOMIE, SYSTEM, LISAH, G-EAU...
- Acteurs : ARVALIS, CACG, ARAA, ATRT...
- Coordination : LAE (INRA)



Merci de votre attention

<http://maelia-platform.inra.fr/>

maelia-platform.inra.fr [Programme acteurs-ressources]

ENTITES

Le maillage de simulation de la MAELIA est construit et s'appuie sur une méthodologie collaborative, où les acteurs, les ressources et les processus de systèmes sont formalisés comme des instances d'un modèle générique de description des systèmes socio-écologiques.

Le diagramme ci-dessous illustre la MAELIA en tant que représentation du modèle conceptuel de la structure du système de gestion d'élevage (en dynamique) dans un contexte d'élevage. Il associe les acteurs de la simulation, les ressources en jeu et la façon dont les entités des blocs sont en relation les uns avec les autres, contribuant au tout système. Le diagramme est structuré en fonction du diagramme de la figure 10, où les entités des ressources sont représentées dans les entités et les entités des ressources sont représentées dans les entités des ressources. Les entités des ressources sont représentées dans les entités des ressources et les entités des ressources sont représentées dans les entités des ressources.

Le MAELIA est un outil de simulation qui permet de formaliser les processus de systèmes socio-écologiques. Trois classes d'entités sont définies comme étant classées à représenter dans la plateforme de simulation de la gestion d'élevage :

- Les entités des ressources (en bleu) : les entités des ressources sont représentées dans les entités des ressources.
- Les entités des acteurs (en vert) : les entités des acteurs sont représentées dans les entités des acteurs.
- Les entités des processus (en orange) : les entités des processus sont représentées dans les entités des processus.

Les instances de ces entités et leurs liens contribuent à la modélisation et à la simulation des systèmes socio-écologiques.

Plus précisément, il est possible de définir des entités des ressources, des entités des acteurs et des entités des processus en fonction des données de la plateforme MAELIA.

Les entités des ressources sont représentées dans les entités des ressources et les entités des acteurs sont représentées dans les entités des acteurs.

Chaque bloc système peut inclure des acteurs et des ressources (dans ce cas, les entités des ressources et des entités des acteurs ne sont pas représentés sur les diagrammes simplifiés).

LES VUE GÉNÉRALE

Figure 10 (en bas de la page)

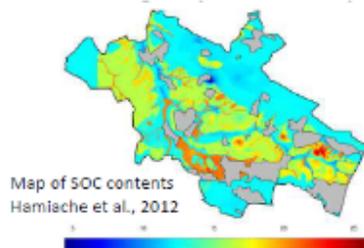
- Ensemble de fonctionnalités (données, modèles, indicateurs) pour simuler la dynamique de systèmes agricoles et écologiques au sein d'un territoire (parcelle, exploitation, zonage, bassin versant)
- Prise en compte des particularités de chaque parcelle (sol, climat, système de culture) et des contraintes de fonctionnement à l'échelle de l'exploitation (ex durées de chantiers, jours utiles)
- Simulations dynamiques journalière sur plusieurs années : résilience aux changements climatiques/sociétaux
- Territoires, continu ou non, de grande étendue (milliers de km²) ou de quelques exploitations voire d'une exploitation
- Application de MAELIA en R, R&D ou D pour accompagner la conception et l'évaluation de stratégies à l'échelle de l'exploitation et/ou du territoire
- Approche modulaire et par domaine ou « intégrée »

Logiques d'instanciations de MAELIA :

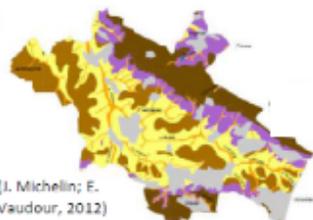
- à court terme sur la base des données disponibles (sols, climat, SdC...) sur une question ciblée
- A moyen et long terme amélioration des données en fonction des besoins (questions) et développement d'un outil et tableau de bord pour piloter le système/territoire
 - Enjeu : connexion avec les systèmes d'information locaux, ex. Mes P@rcelles, base de données sol...

*PROTERR : terrains d'étude

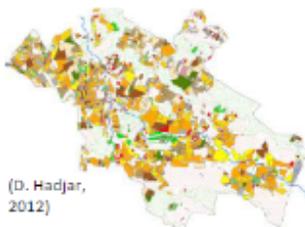
Carbone organique des sols



Propriétés des sols



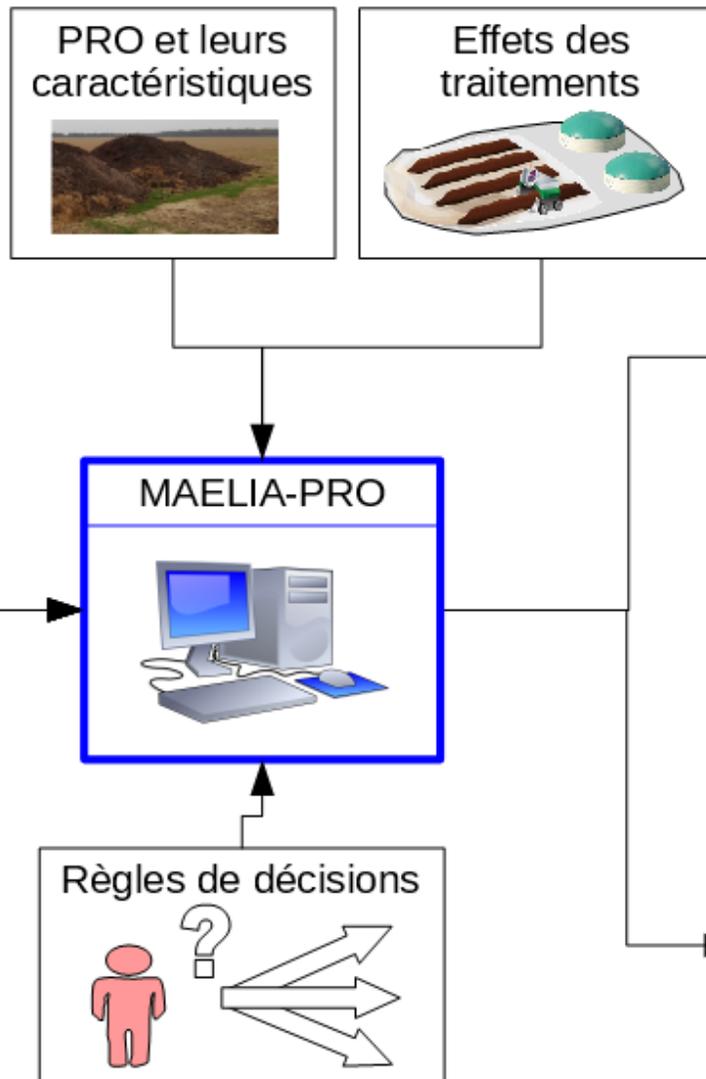
Systèmes de culture



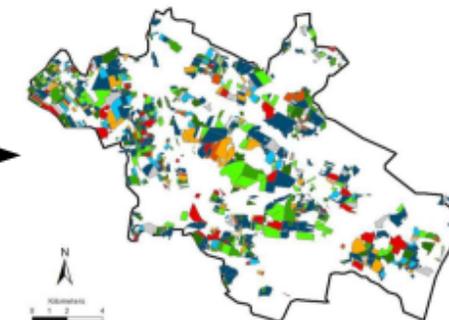
Climat



Autres données
(topo, admin...)



Simulation des pratiques
culturales, des effets et
impacts des PRO



Production d'indicateurs à
différentes échelles

Indicateur	Etat
Utilisation engrais N	150
Teneur MO sol	2,2
Marge	300
Production d'énergie	0
...	

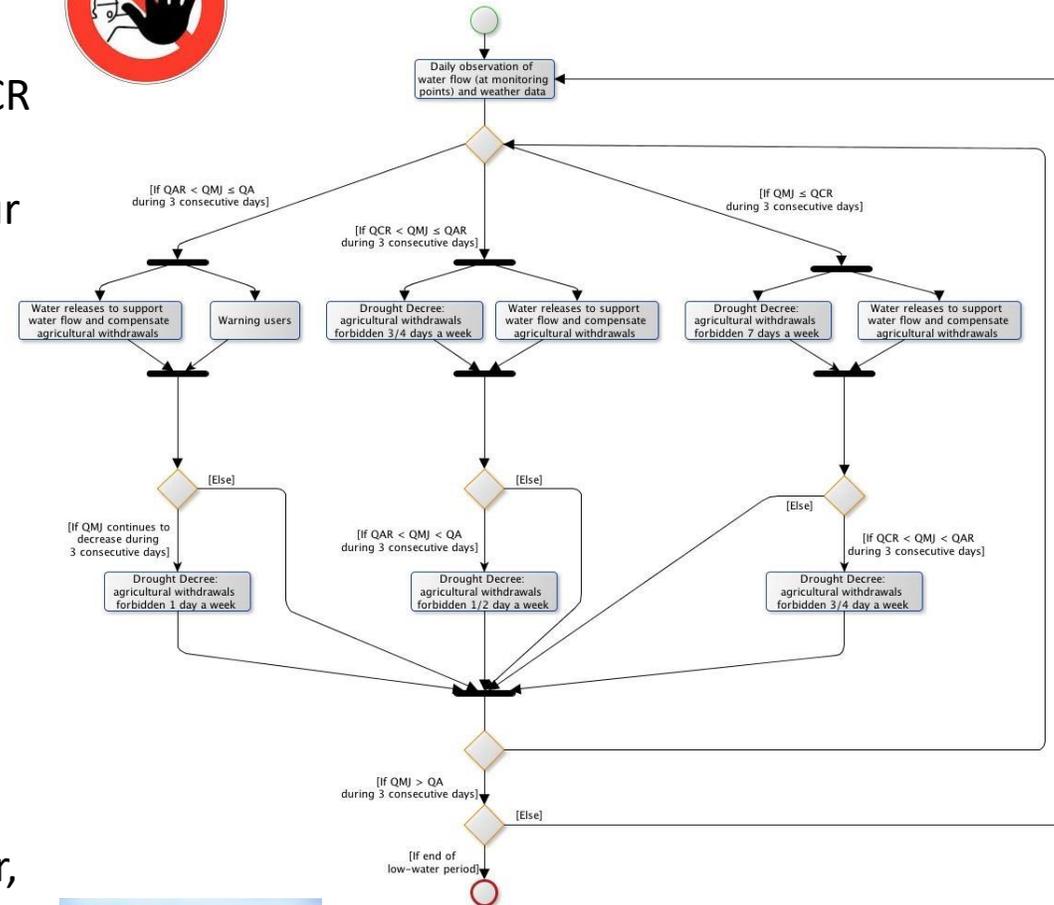
Levavasseur et al.

➤ Ex. Restrictions

- Règle de déclenchement en fonction de l'état des ressources (DA, DAR, DCR & ONDE)
- Zones sécheresses et secteurs de tour d'eau
- Solidarité amont aval
- Progressivité des restrictions
- ...

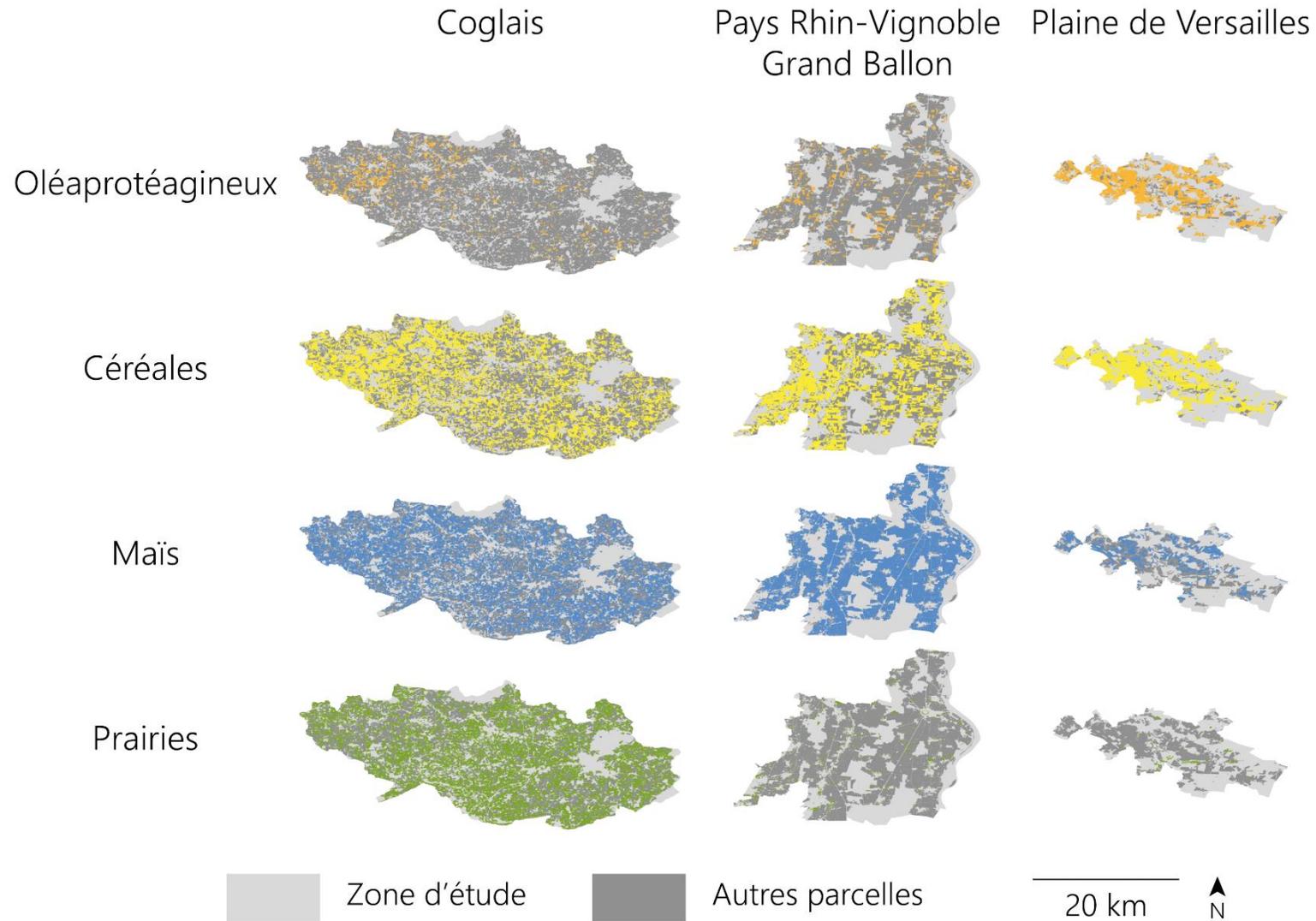
➤ Ex. Lâchers de soutien d'étiage

- Points DOE
- Temps de transfert
- Contraintes de fonctionnement de chaque barrage : débit min et max, courbe de vidange, période de lâcher, cote touristique...
- Priorité entre barrages
- ...



- Sorties économiques manipulables
 - Echelle Espèce ; ITK ; SdC ; Exploitation ; zonage...
 - Marges brutes (€/ha)
 - Marges semi-nettes (€/ha)
 - Production (t ou €)
 - Rendement (t/ha)
 - Efficience économique Irrigation (production/ volume d'irrigation ; €/m³)
 - Temps de travail (h/ha)
 - Échelle territoire :
 - Marges brutes (€/ha) = Chiffres d'affaires – Ch Opérationnelles
 - « Valeur ajoutée » (€/ha) : Somme de Marges semi-nettes (*marges brutes – charges fixes*)
 - Production (€ et tonnage)

**PROTERR : terrains d'étude*



* MAELIA : Territoires d'étude MAELIA

